第 41 卷 第 1 期　　昆 虫 学 报　　Vol. 41, No. 1
1998 年 2 月　　ACTA ENTOMOLOGICA SINICA　　Feb., 1998

棉铃虫飞翔的能源物质及消耗

吴孔明　郭予元
（中国农业科学院植物保护研究所　北京　100094）

摘要　研究结果表明棉铃虫 *Helicoverpa armigera*（Hübner）初羽化个体的能源储备主要为甘油酯，1日龄成虫甘油酯和糖原的含量分别为每头3.6365 mg 和0.3658 mg，通过成虫期的取食，二者的含量分别于羽化后4 d 和5 d 达到高峰（6.5707 mg 和2.3500 mg）。对吊飞个体的测定表明甘油酯和糖原是棉铃虫飞翔的能源物质，蛋白质含量和飞行活动无明显的相关关系。4日龄成虫在飞行磨上吊飞66 h，飞翔时间37.9943 h，累积飞行216.8650 km。累积消耗能量218.72 J，其中甘油酯占85.87%，糖原占14.13%。

关键词　棉铃虫，飞翔，能源物质

棉铃虫 *Helicoverpa armigera*（Hübner）之所以在农业生态系统中占据重要的地位，和其具有适应多种生境的生理、行为及生态特性有着密切的关系。在诸多特性中，迁飞扩散是一个比较重要的特点[1~3]。较强的迁移能力使棉铃虫能从空间上适时地逃避不良栖境，直接调节种群的数量动态。因而研究棉铃虫的迁飞对指导它的综合治理有着重要的意义。明确棉铃虫迁飞过程中的能源消耗是阐述棉铃虫迁飞机制的基础，而目前国内外对此尚缺乏系统的研究。本文报道了有关棉铃虫飞行与能源消耗的一些研究结果。

1　材料与方法

1.1　供试棉铃虫

供试棉铃虫利用人工饲料饲养。饲养环境保持15 h:9 h（L:D）光周期、(26±1)℃温度和70%～80%的相对湿度。选取蛹重（290±10）mg 的个体作为试验材料。待成虫羽化后，设置成虫期有补充营养和饥饿处理，分别饲以10%糖水和清水。

1.2　棉铃虫的取样及飞行能力的测定方法

对成虫期有补充营养和饥饿处理的二类棉铃虫分别于羽化后1、3、5、7、9和11 d 取样。所取个体在80℃下烘干备用。将有补充营养的4日龄成虫在昆虫飞行磨上吊飞。每处理测定10～15头，供试成虫雌雄比为1:1。吊飞方法参见[2]。吊飞室控制温度(24±1)℃。相对湿度（80±5)%并保持黑暗。悬吊时间分别为1、5、9、17、28、48和66 h。由计算机系统记录飞行时间、距离等参数。吊飞结束后，立即在80℃下烘干备用。

1995-04-05收稿，1996-08-12收修改稿

1.3 棉铃虫体内糖原、甘油酯类和蛋白质含量的测定方法

采用单头测定法，每处理测定10～15头。糖原测定采用蒽酮比色法，甘油酯测定采用变色酸法，蛋白质测定采用双缩脲法[4]。

2 结果与分析

2.1 成虫体内糖原、甘油酯及蛋白质的变化动态

表1是对不同日龄棉铃虫蛾干重的测定结果。从中可以看出，1～3 d是成虫干重最大阶段。成虫期取食补充营养者，其干重多分布于70～90 mg。羽化5 d后成虫的干重开始下降，至第13 d雌、雄蛾的干重分别降至42.77 mg和42.72 mg，雌、雄个体之间无显著性差别。成虫饥饿处理，其干重5 d后下降速度较快，至9 d后雌、雄蛾干重分别降至39.52 mg和38.91 mg。饥饿成虫寿命明显短于有补充营养者，多数个体9 d前死亡。

表1 不同日龄棉铃虫蛾体重（干重，mg/头）

羽化后天数 (d)	成虫取食		成虫饥饿	
	♀	♂	♀	♂
1	74.15±10.30ab AB	87.29±12.63a A	74.60±11.45a A	72.68±13.48a A
3	81.68±2.16 a A	75.31±11.95 ab AB	69.38±8.66a A	71.90±8.74a A
5	64.20±17.79bc AB	72.80±25.65 ab AB	67.83±5.34 a A	57.24±15.03 b AB
7	56.98±5.92 c BC	62.32±10.41 b BC	47.55±18.48 a AB	42.28±4.19 c BC
9	43.80±5.43 d C	46.33±1.54 c CD	39.52±8.64 b B	38.91±4.76 c C
11	38.43±8.12 dC	39.85±0.88cD		
13	42.77±6.82 dC	42.72±4.70cD		

注：数字后字母为Duncan测验结果，小写表示5%显著水平，大写表示1%显著水平，字母相同者表示差异不显著。下表同

图1是棉铃虫体内糖原含量的变化动态，羽化后1 d个体成虫体内糖原含量较低，平均单头0.3658 mg。随着蛾龄的增加，糖原的含量有一个上升的过程。成虫期补充营养个体者，其糖原的含量在5 d达到高峰，平均单头2.3500 mg。成虫期饥饿者，其体内糖原含量也有一个上升的过程，至5 d达0.8682 mg/头，但显著低于成虫期取食个体，二者相差2.71倍。低龄成虫体内糖原含量较低说明糖原并非棉铃虫成虫初羽阶段能源储备的主要形式。成虫期饥饿个体糖原含量也有一个显著的增加过程则只能来源于脂肪的转化。

甘油酯是昆虫体内脂肪储存的主要形式。图2示成虫体内甘油酯含量的变化状况。1 d个体，其体内甘油酯的含量为3.6365 mg/头。在成虫取食补充营养条件下甘油酯的含量有一个显著的上升过程，至4 d单头含量达到6.5707 mg，此后含量迅速下降，9 d后降至1.0917 mg，13日龄降至0.4209 mg。如成虫期不取食糖水，则甘油酯的含量呈明显的下降趋势，至9日龄降至0.3200 mg。

图3是成虫体内蛋白质含量的变化曲线。羽化1 d个体其蛋白质含量为24.9660 mg/头，占体干重的1/3左右。有补充营养和饥饿处理，其体内蛋白质的含量都有一个上升的过程，至5 d达到高峰。其含量分别为28.3302 mg和27.8230 mg。在此阶段，二者之间无

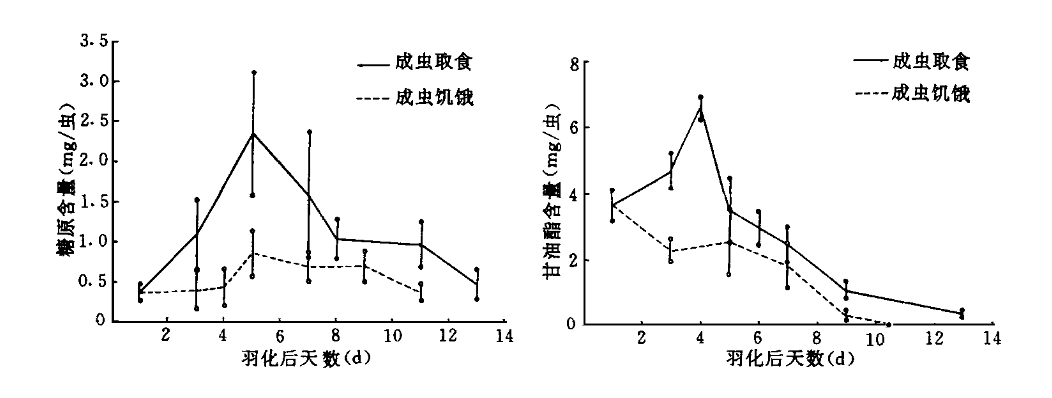


图1　棉铃虫成虫体内糖原含量变化动态　　图2　棉铃虫成虫体内甘油酯含量变化动态

显著性差别。7 d 后蛋白质含量开始下降，但成虫饥饿处理下降速度明显高于补充营养个体，至13 d 蛋白质含量降至12.8886 mg/虫。

脂肪和糖元是昆虫生命活动的主要能源物质。对成虫体内糖元、甘油酯的研究表明初羽化个体甘油酯的含量明显高于糖元的含量。在成虫期饥饿状态下糖原含量有一个明显的增加过程，而甘油酯的含量则有显著下降的过程，表明棉铃虫蛹期主要的能源储备为甘油酯。成虫期补充营养个体其甘油酯含量由3.6365 mg/头，上升至6.5707 mg，则说明成虫期消耗的甘油酯有53.32%来自于补充营养。棉铃虫成虫期的能源消耗主要用于以交配和寻找产卵寄主的飞翔及产卵活动。一般3 d 后开始产卵，6 d 达到产卵高峰日。从本试验的能源物质含量的变化来看4 d 以前是糖元和甘油酯的补充过程，4 d 后为大量消耗过程，能源物质这种变化动态和棉铃虫成虫生命活动的节律较为一致。

2.2　棉铃虫飞行过程中的能源物质消耗

表2是棉铃虫蛾在吊飞过程中的飞行参数。连续吊飞66 h，棉铃虫累积飞行37.9943 h。在悬吊20 h 期间，飞行时间占吊飞时间的比例保持在63.27%～74.00%，在吊飞20～60 h 飞行时间占43.29%～67.86%，此后至66 h，由于蛾子体能的大量消耗停飞时间明显增多，达到84.03%。就飞行速度而言，在悬吊0～40 h 平均飞行速度无显著性差别，保持在1.4243 m/s～1.8609 m/s，此后不断下降，最后减至0.9398 m/s。在整个吊飞期间共计飞行216.8650 km。

棉铃虫吊飞过程中糖原、甘油酯和蛋白质含量的测定结果汇于表3。从中可以看出蛋白质含量在整个吊飞过程中变化不大，不同吊飞时间无显著性差别。甘油酯含量和糖原含量则和飞行时间呈显著的负相关。在吊飞前甘油酯和糖原的含量分别为6.5702 mg/头和2.3495 mg/头，吊飞66 h 后分别降低至1.7547 mg/头和0.532 1 mg/头。表明甘油酯和糖原是棉铃虫飞行的主要能源物质。

如以 t 代表飞行时间，L 代表飞行距离，Y_1和 Y_2分别代表飞行过程中糖元和甘油酯的消耗量，则根据表2拟合飞行与能源物质消耗的几个相关模型如下：

表2 棉铃虫蛾在吊飞过程中的飞行参数

悬吊时间（h）	累积飞行时间（h）	累积飞行距离（km）	区间飞行速度（m/s）
1	0.6327±0.2709f F	4.1414±2.3710e E	1.6957±0.4860ab A
5	3.5930±1.3103ef F	24.0671±15.1868de E	1.6565±0.6631ab AB
10	7.0716±2.5599e EF	47.8937±28.1496de DE	1.8609±0.4947aA
20	14.2105±4.3052d DE	84.9438±49.3322cd CDE	1.6603±0.4316ab AB
30	18.5398±6.6798d CD	122.7060±58.4430bc BCD	1.5297±0.3772ab AB
40	25.3254±7.5052c BC	156.8348±72.4646ab ABC	1.4237±0.4117abc AB
50	30.9203±6.7525bc AB	190.5795±64.6824a AB	1.2077±0.1783bc AB
60	37.0362±4.6784ab A	212.6873±66.9286a A	1.2786±0.3903bc AB
66	37.9943±4.4741a A	216.8650±66.5700a A	0.9398±0.1718c B

表3 棉铃虫蛾在吊飞过程中糖原、甘油酯和蛋白质的含量

悬吊时间（h）	成虫干重（mg/头）	甘油酯（mg/头）	糖原（mg/头）	蛋白质（mg/头）
0	81.89±16.58a A	6.5702±0.1702a A	2.3495±0.3411a A	26.0890±4.1005a
1	79.91±17.27a AB	6.5502±0.3463a A	2.0189±0.4014ab AB	30.0092±3.9955a
5	78.51±13.28a AB	5.1337±0.3050b AB	1.8092±0.3289ab ABC	26.6531±1.5655a
9	75.22±10.59a ABC	4.3474±0.3998b BC	1.6376±0.5280abc ABCD	23.2205±2.0610a
17	71.87±15.85ab ABCD	4.1589±0.8277b BC	1.2613±0.8435bcd ABCD	28.5758±4.0224a
28	61.76±11.87bc BCD	2.4742±0.7749c CD	1.2109±0.3170bcd BCD	27.7932±8.9558a
48	57.13±10.64c CD	2.5154±0.9979c CD	0.8160±0.0097cd CD	28.4213±2.0470a
66	55.61±11.13c D	1.7547±0.8461c D	0.5321±0.2002d D	22.5042±3.0148a

飞行距离 L（km）依飞行时间 t（h）的变化方程：$L=6.3037t^{0.9722}\pm4.1304$（$r=0.9996^{**}$）

飞行过程中糖元 Y_1（mg）依飞行时间 t（h）的消耗方程：$Y_1=0.3488t^{0.4217}\pm0.1171$（$r=0.9849^{**}$）；飞行过程中甘油酯 Y_2（mg）依飞行时间 t（h）的消耗方程：$Y_2=2.6975\lg t+0.1140\pm0.4812$（$r=0.9669^{**}$）

鉴于消耗1mg 糖元和脂肪放出的能量分别为17 J 和39 J[5]，依据上述模型可得出棉铃虫飞行过程中能量消耗模型：$E=E_1+E_2=17Y_1+39Y_2=4.4460+105.2025\lg t+5.9296t^{0.4217}$，上式 E、E_1和 E_2分别为飞行消耗的总能量、由糖原提供的能量和由脂肪提供的能量，单位为焦耳。

同理亦可建立飞行距离与能源消耗模型。棉铃虫在整个吊飞期间糖原、脂肪提供的能源动态及总的能量消耗如图4。飞行37.87 h 共计消耗能量218.72 J，其中糖原30.90 J，甘油酯187.82 J，分别占14.12%和85.87%。

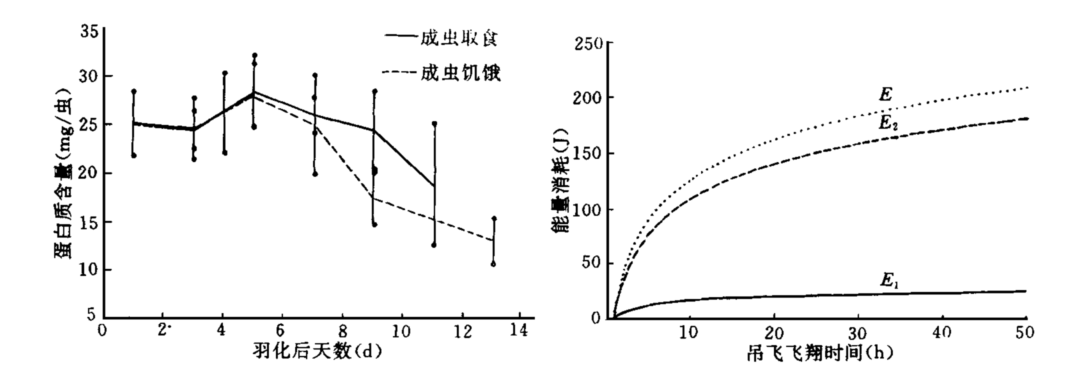


图3　棉铃虫成虫体内蛋白质含量变化动态

图4　棉铃虫飞翔过程中的能量消耗动态
E 为总的能量消耗，E_1、E_2分别代表由糖原和甘油酯提供的能量

3　讨论

昆虫的飞行运动是胸部飞翔肌在神经支配下的收缩的结果，飞翔过程中伴随着较高的代谢速度和能源消耗。前人已对稻纵卷叶螟、稻褐飞虱、东亚飞蝗等昆虫飞翔的能源物质进行了研究[6~7]。表明脂肪、糖原和一些种类的氨基酸是昆虫飞翔的能源物质，但不同种类之间能源物质的利用则有较大的区别。如邹运鼎（1983）报道糖原是稻褐飞虱迁飞的主要能源物质，脂肪是稻纵卷叶螟飞翔的主要能源物质[6]。对东亚飞蝗的研究则表明，东亚飞蝗飞翔时的代谢强度平均为75.6卡/（mg·h），其中由脂肪供给的能量占87%，糖原供给的能量占12%左右[7]。从本文的研究结果看，棉铃虫飞翔的能源消耗和东亚飞蝗有较大的相似性，其由脂肪和糖原提供的能量分别是85.87%和14.12%。一般认为，以脂肪作为飞翔的主要能源物质有利于昆虫的远距离迁飞，这是因为脂肪提供的能源不仅是相对经济的，而且在转化过程中又可产生较多的代谢水供虫体的生命活动利用[8]。

参　考　文　献

1　吴孔明，郭予元. 棉铃虫迁飞与滞育的研究：棉铃虫滞育的解除与羽化形式. 中国农业科学，1996，29（1）：15～20

2　吴孔明，郭予元. 营养和幼期密度对棉铃虫飞翔能力的影响. 昆虫学报，1997，40（1）：51～57

3　Fitt G P. The ecology of *Heliothis* species in relation to agroecosystems，Ann. Rev. Ent.，1989，34：47～52

4　冯　慧. 昆虫生物化学分析方法. 北京：农业出版社，1989. 11～57

5　Chapman R F. The insects structure and function. London：Hodder and Stougnton Press，1982，265

6　邹运鼎，陈基诚，王士槐. 稻纵卷叶螟、褐飞虱体内能源物质动态与迁飞关系的研究. 生态学报，1983，3（1）：63～68

7　黄冠辉. 东亚飞蝗飞翔过程中脂肪和水分的消耗及温湿度所起的影响. 动物学报，1964，16：372～379

8　郭　郛，陈永林，卢宝廉. 中国飞蝗生物学. 济南：山东科学技术出版社，1991. 375～582

THE RELATIONSHIP BETWEEN UTILIZATION OF ENERGY SUBSTANCES AND SUSTAINED FLIGHT IN COTTON BOLLWORM, *HELICOVERPA ARMIGERA*

Wu Kongming Guo Yuyuan

(Institute of Plant Protection, Chinese Academy of Agricultural Sciences Beijing 100094)

Abstract The relationship between utilization of triglyceride and glycogen and sustained flight in the moths of cotton bollworm, *Helicoverpa armigera* was investigated in the laboratory. It was found that the triglyceride was the main stored energy substance for flight, its content in a newly emerged individual was 3.6365 mg/moth, while the content of glycogen was 0.3658 mg/moth. With feeding sugar in adults, they increased to 6.5707 mg on the fourth day and 2.3500 mg on the fifth day, respectively. The content of protein in tethered flight moth changed negligibly, indicating irrelevant to flight activity, while there were negative correlations between the contents of triglyceride and glycogen and flight duration. The flight activities of the 4-day old moths were detected for 66 h by flight mill, the moths flew 37.9943 h and covered a distance of 216.8650 km with an energy consumption of 218.72 J, in which the percentages of triglyceride and glycogen utilized were 85.87% and 14.13%, respectively.

Key words cotton bollworm, flight, energy substance